

ELGASTO PÚBLICO EN I+D+i EN EL SISTEMA ENERGÉTICO ESPAÑOL

Cantos, José M^a

Josemaria.cantos@uclm.es

Balsalobre Lorente, Daniel

Daniel.balsalobre@uclm.es

*Departamento de Economía Aplicada
Universidad de Castilla-LA Mancha*

Resumen

La política energética española durante los últimos años ha estado muy sesgada hacia la sustitución de fuentes energéticas tradicionales, muy contaminantes, por otras renovables. La gran cantidad de recursos públicos que se están destinando a financiar la producción de estas energías contrasta con la creciente escasez general de recursos y con la reducida aportación pública a la I+D+i en el sector energético. Utilizando un modelo de Curva de Kuznets Ambiental, hemos obtenido evidencia sobre la relación de las políticas de I+D+i energéticas con las emisiones de gases contaminantes. Además, nuestros resultados indican que el apoyo público a la I+D+i en eficiencia energética podría ser más eficaz que el mismo gasto aplicado a la investigación en el sector de las energías renovables, aunque estos últimos resultados no son concluyentes.

Palabras clave: energías renovables, eficiencia energética, gasto público en I+D+i energético

JEL Codes: P28, P48, Q48

1.- Sistema energético e intervención pública

Desde las primeras décadas del S. XX en muchos países se consideró que el sistema energético constituía un sector estratégico de las economías nacionales por dos tipos de razones. Primero, porque su carácter horizontal para el resto de sectores impone la necesidad de garantizar el abastecimiento de las principales fuentes, desigualmente repartidas por el mundo, con el fin de evitar un colapso derivado de comportamientos estratégicos de los países productores (seguridad de abastecimiento). En segundo lugar, porque los requerimientos tecnológicos de la producción y distribución de muchas de las fuentes energéticas, incluso dentro del propio país, constituyen un elemento distorsionador para un mercado de libre competencia, generando posiciones dominantes capaces de alterar el precio que se obtendría en condiciones competitivas.

Por lo que se refiere a este segundo motivo, es cierto que en el plano teórico cabe cuestionar el tradicional requisito de la competencia perfecta asentado en postulado de que debe darse una situación en la que concurren muchos oferentes y muchos demandantes, para acercarse más a la idea de libre competencia esbozada ya hace muchas décadas por algunos representantes de la Escuela Austríaca, consistente en la necesidad de relajar la exigencia formal de una multitud de concurrentes en ambos lados del mercado, por otra más centrada en el grado de concurrencia posible que permita las condiciones técnicas objetivas de cada mercado¹. En todo caso, lo cierto es que las imperfecciones que se dan en la práctica totalidad del resto de mercados impedirían alcanzar la eficiencia en el mercado energético para la inmensa mayoría de economías actuales. El recurso a la teoría de los fallos del mercado parece inevitable en un mundo como el actual, y lo que sería exigible, en todo caso, es que la intervención pública sea eficiente.

La sostenibilidad del crecimiento económico comienza a ocupar la agenda de ciertos organismos internacionales, sobre todo, a partir de la creación del Club de Roma (1968), con su primera publicación de renombre mundial en 1972, a pesar de que no ha podido contrastarse el catastrofismo que se desprendía de sus conclusiones². Contaminación, impacto negativo sobre la población mundial y escasez de recursos energéticos, son términos que pasarían a formar parte, no solo del acervo del ecologismo como movimiento social, sino también del propio acervo de la investigación en muchos campos y, entre ellos, el económico. A lo largo de las últimas tres décadas, este movimiento en torno a la sostenibilidad ha ido permeabilizando cada vez más los objetivos de las políticas públicas, hasta el punto de que ha surgido con fuerza una tercera razón a tener en cuenta a la hora de considerar al sector energético como un sector estratégico: la necesidad de lograr una producción y un consumo de energía sostenibles, por cuanto que en ningún otro sector como en éste se personaliza de manera tan nítida el impacto medioambiental negativo de los procesos económicos.

Por tanto, la acción pública en el campo energético cuenta con tres poderosas razones que la respaldan: la estratégica, la necesidad de lograr un mercado eficiente y la de controlar el impacto medioambiental, si bien, una buena parte de la última bien podría subsumirse en la segunda a modo de restricción, toda vez que implica la internalización de los costes

¹ En relación con la concepción austríaca del término “competencia perfecta” acuñado desde los clásicos, véase Rothbard, M. N. (1970).

² Véase “Los límites del crecimiento”, el primer informe de trascendencia encargado al MIT en 1972. Otros acontecimientos pioneros fueron la celebración de la primera “Cumbre de la tierra” (1972), en Estocolmo, la adopción de la “Carta Mundial de la ONU para la Naturaleza” (1982), la creación en el seno de la ONU de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1983), o el denominado Informe Brundtland (“Nuestro futuro común”) en 1987.

ambientales en los procesos de producción, distribución y consumo. Desde el punto de vista formal, el ejercicio de optimización podría consistir en determinar la cantidad mínima de energía a producir (y consumir) dadas unas necesidades de crecimiento económico, sujeto a una estructura de costes determinada basada en un sistema de precios socialmente eficientes. Sin embargo, la sencillez que se desprende de la exposición del problema se encuentra tan alejada de la realidad que resultaría poco práctico, por ineficaz, aproximarse al problema de esta forma global, además de los recelos que suscita el empleo de un enfoque del tipo dictador benevolente. Es preciso, por tanto aproximarse a esta cuestión con un enfoque parcial.

Cuando nos enfrentamos al problema económico de analizar una medida de política energética, se precisa ir más allá del puro resultado en términos de eficacia, una vez fijado y cuantificado el objetivo, y una vez fijados y acotados los indicadores de costes. En nuestro caso, el objeto de interés son ciertas medidas públicas (las de I+D+i) adoptadas en España con el fin de reducir las emisiones contaminantes en los procesos de producción y consumo de energía, hasta adecuarlas a las exigencias de la Unión Europea, lo que implica una drástica reducción de las emisiones que se vienen observando³. Para conseguir este objetivo final, pueden establecerse, grosso modo, dos objetivos intermedios: reducir la producción y/o consumo de las fuentes energéticas más contaminantes y sustituirlas por otras más respetuosas con el medio ambiente; o bien, conseguir mejorar la eficiencia energética general del sistema económico.

En cuanto al primero de estos objetivos, la sustitución de fuentes muy contaminantes (básicamente de origen fósil) puede trasladarse hacia fuentes de energía nuclear o de otras renovables, cuyas emisiones contaminantes son significativamente menores. Dos problemas surgen cuando se adopta esta estrategia: por un lado, el mas o menos presente rechazo social que ocasiona la producción nuclear, y por otro, el diferencial positivo de costes que representan el resto de fuentes renovables por unidad energética producida, lo que impulsa un aumento considerable en el coste tarifario⁴. Por lo que se refiere a la energía nuclear, el alto coste de planta se compensa sobradamente con los bajos costes unitarios de producción, algo que está fuera de toda duda si se computan exclusivamente los costes financieros, pero que suscita no poca controversia cuando se contemplan, siquiera en el plano formal, los costes asociados al riesgo de catástrofe, teniendo en cuenta que este tipo de cálculos son difíciles de realizar debido a las extraordinarias secuelas que provocarían, además, por tiempo indefinido. Por su parte, el uso de energías renovables tiene como contrapunto un coste unitario significativamente superior, lo que conlleva, en el mejor de los casos, que la sustitución energética eficiente no tendrá lugar sino en el largo plazo⁵. La intervención administrativa se enfrenta, por tanto, a una disyuntiva como la descrita, pero aún puede elegir entre interiorizar costes (allí donde es

³ Entre las normas dictadas por la UE en materia de eficiencia energética, se encuentran la Directiva 2002/91/CE, relativa a la eficiencia energética de los edificios, y la Directiva 2006/32/CE, sobre eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

⁴ Según los datos que viene manejando la patronal UNESA, tan solo el 45,6% de la factura eléctrica corresponde al consumo de electricidad, mientras que el resto debe cubrir las primas a las energías renovables (22,5%), el IVA y el Impuesto sobre la Electricidad (18,7%), anualidades abonadas a consecuencia del déficit tarifario acumulado de años anteriores (6,1%), compensaciones extra-peninsulares (3%), y conceptos varios, incluida la moratoria nuclear, Elcogas, los planes de calidad y de ahorro y eficiencia energética (4,1%). A su vez, el coste de las primas aludido es casi el equivalente al coste total de generación (24,8%), incluido dentro del 45,6%.

⁵ Por lo que se refiere al diferente coste financiero de producción por fuentes energéticas (en euros por MW/H), los datos proporcionados por ENERCLUB para 2008 indican un coste de 430 para la solar fotovoltaica, 84 para la eólica, 60 para el gas, 52 para el carbón, 45 para la hidráulica y 36 para la nuclear. Dicho de otro modo, el coste del KW/H de la solar fotovoltaica representa casi 12 veces el de la nuclear, 9,5 veces el de la hidráulica y 8,3 veces el del carbón.

posible) y dejar que sea el mercado el que elija el mix energético, o sustituir la voluntad del mercado promocionando un determinado tipo de fuentes renovables en detrimento de otras, a sabiendas de que este último comportamiento va más allá de la licencia obtenida con cargo a la teoría de los fallos del mercado.

El segundo de los objetivos intermedios que puede plantearse la intervención administrativa es mejorar la eficiencia energética general del sistema económico, esto es, se trata de conseguir reducir la ratio de energía consumida por unidad de PIB, medido por el índice de intensidad energética, lo que automáticamente redundaría en una reducción de las emisiones contaminantes, *ceteris paribus*. Esta estrategia incide en el lado de la demanda, modulando la demanda final de productores y del sector residencial. En cuanto al primero, el objetivo a alcanzar es la mejora tecnológica aplicada a los procesos de producción y de distribución de energía, así como a la fabricación y/o explotación de herramientas y máquinas utilizadas en otros procesos productivos, o destinadas al uso particular. En este sentido, lo que subyace en cualquier estrategia de mejora de la eficiencia energética es el papel clave que representa el gasto en I+D+i, tanto público como privado (Mansfield y Switzer, 1994; Fernández, 2007; Hamilton y Turton, 2002; Fisher-Vanden 2004; Yuxiang y Chen, 2010; Ruiz, 2010).

Por lo que se refiere al conjunto de demandantes finales de energía, puede decirse que hay dos tipos de medidas que inciden de manera especial sobre la eficiencia: la incorporación de los costes externos a la tarifa regulada, así como una adecuada estructura de la misma, de manera que evidencie de forma clara ante los agentes económicos los incentivos para perseguir un comportamiento eficiente, por un lado, y las campañas de concienciación ciudadana sobre consumo responsable (y de apoyo público, en su caso), por otro. En todo caso, en las medidas de promoción de la eficiencia energética es aconsejable no perder de vista que el uso de campañas de concienciación basadas en la sustitución subvencionada de bienes de producción o de consumo final, solo son eficientes (incluso eficaces) cuando previamente se ha establecido una escala de precios regulados que proporcione incentivos en la misma dirección que las proporcionadas por esas medidas de concienciación y apoyo directo.

En relación con las medidas que deben incidir en una escala de precios finales que proporcione incentivos a la eficiencia, parece existir práctica unanimidad en la literatura económica sobre la idea de una necesaria adecuación del precio final al coste real del servicio, algo que técnicamente sería muy sencillo si los propios costes financieros en la fase de producción, transporte, distribución y consumo de la energía, reflejaran en su integridad los costes totales. Como es perfectamente conocido que esto no es así, al existir efectos externos negativos (básicamente ambientales) no computados en todas las fases citadas, una tarifa de precios finales socialmente eficiente debe incluir tal impacto negativo si se pretende que los incentivos que proporcione al consumidor vayan en la misma dirección que el resto de incentivos proporcionados por otras medidas complementarias. Ahora bien, mientras que técnicamente es posible localizar y determinar, en la mayoría de las ocasiones, los costes no financieros asociados a los procesos de producción y transporte de la energía, resulta más difícil localizar y cuantificar dichos costes asociados al consumo final cuando la energía se utiliza, a su vez, como input en la producción de bienes y servicios. Para estos casos y para el resto de casos de uso final de la energía (uso residencial), existe una herramienta que permite incorporar los efectos externos negativos a la tarifa de precios finales: los impuestos especiales sobre el consumo de energía. Si la tarifa final recoge adecuadamente los costes financieros y no financieros, entonces generará incentivos para mejorar la eficiencia energética. En caso contrario, el impacto beneficioso que pudieran tener otras medidas de

política energética sobre la eficiencia, quedarán contrarrestados y el sistema energético, en general, y los impuestos especiales, en particular, serán ineficientes.

Por eso, una regulación energética adecuada requiere de una herramienta útil para lograr la eficiencia (Linares, 2002), generando incentivos en los agentes. Dentro de estos incentivos destacan los del cambio tecnológico, que permite mejoras permanentes en la eficiencia. Otra ventaja de los instrumentos de precios es que, al no reducir el precio efectivo de la energía, se elimina a corto plazo el efecto rebote, a la vez que es compatible con otros incentivos como las subvenciones públicas para la realización de inversiones destinadas a mejorar la eficiencia energética. El carácter irreversible de las inversiones en ahorro y eficiencia da lugar a que la percepción de una subida de precios sea más intensa que la que se experimenta ante una bajada de los mismos, reforzando la eficacia de este tipo de instrumentos.

Otro tipo de instrumentos al servicio de la mejora en la eficiencia son los denominados instrumentos económicos de cantidad, donde el regulador busca reducir la cantidad consumida de energía. Se trata de medidas que imponen objetivos a las empresas distribuidoras o comercializadoras de energía, con ciertos grados de libertad para elegir la forma de alcanzar el objetivo, centrándose sobre todo en el ámbito doméstico. Sin duda, esta fórmula es marcadamente intervencionista y compleja de implantar, puesto que se precisa disponer de una valoración objetiva adaptada al mercado, que debe ir ajustándose periódicamente en función de los logros obtenidos. Incluso podría permitirse a las empresas comerciar con las ganancias de eficiencia obtenidas, previamente su acreditación a través de una especie de certificado, dando lugar a un mercado secundario⁶.

Un tercer bloque de medidas regulatorias pasa por el establecimiento de estándares mínimos obligatorios, referidos a un nivel determinado de eficiencia mínima en equipos, edificios o procesos industriales. Frente al establecimiento de impuestos especiales o cánones, estas medidas se caracterizan porque proporcionan un menor rechazo de los agentes económicos en la medida en que son poco observables. Además, requieren una baja complejidad administrativa. En definitiva, las referidas características han hecho de estas medidas un instrumento de los más utilizados en la mayoría de países, pese a que también cuenta con desventajas, como el posible “efecto rebote” (el consumo energético global no disminuye proporcionalmente a esta mejora, e incluso podría aumentar), o el impacto socialmente regresivo, en ciertos casos⁷. A pesar de todo, la experiencia internacional ha consolidado estos instrumentos como habituales para conseguir mejoras en la eficiencia energética en el medio y largo plazo⁸.

Finalmente, se encuentran las medidas destinadas a mejorar la información y la sensibilización de los consumidores por la eficiencia energética, por medio de campañas de información, la introducción de conceptos de eficiencia energética en los materiales

⁶ Aunque este tipo de medidas están previstas en la Directiva 2006/32/CE, la Comisión Europea se muestra muy cautelosa al respecto y todavía se está analizando si realmente se trata de una herramienta adecuada para mejorar la eficiencia energética.

⁷ Los requisitos de eficiencia impuestos por la normativa sobre los aparatos eléctricos pueden tener carácter regresivo cuando los individuos de baja renta prefieren recurrir a aparatos menos eficientes pero más baratos, estando dispuestos a renunciar al sobrecoste de la inversión (prefieren aparatos poco eficientes), en favor de unos mayores costes de operación (mayor consumo de energía). Este trueque ocurriría cuando el nivel de uso del aparato se encuentra por debajo de cierto umbral.

⁸ En Gillingham, Newell y Palmer (2009) se concluye que los estándares energéticos aplicados a electrodomésticos constituyen una de las medidas más eficientes para la reducción del consumo. En el transporte, merece destacar el Reglamento europeo aprobado en Diciembre de 2008, donde se establece un límite de emisiones de 120 gramos de CO₂ por km, en el año 2012, para toda la industria del automóvil, fijándose una sanción de 20 € por gramo y kilómetro que supere el límite de 130 gramos. Para 2013, la sanción asciende a 35 euros, a 60 euros en 2014 y a 95 euros en 2015.

educativos, la inclusión del etiquetado energético en equipamientos, la inclusión en las facturas de información sobre consumos históricos, la financiación de equipos de bajo consumo, o el fomento de auditorías energéticas. En favor de estas medidas se encuentra que no generan oposición pública, no alterando (o haciéndolo mínimamente) la conducta de los agentes. Las desventajas más importantes son que suponen un coste para el sector público (sobre todo si se subvencionan compras) cuya efectividad es difícilmente evaluable. Pese a todo, estas medidas también están muy extendidas en los países occidentales, siempre acompañadas de otra serie de iniciativas.

2. Principales aspectos de la política energética reciente en España

Sustitución de fuentes v. eficiencia energética

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) viene identificando a lo largo de sus informes que existen una serie de factores vinculados a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) que provocan un cambio climatológico, y ha realizado proyecciones augurando importantes efectos adversos a largo plazo⁹. La propia política energética de la Unión Europea viene estableciendo una serie de directrices en orden a la reducción de las emisiones contaminantes, aportando también una serie de recomendaciones encaminadas a lograr este amplio objetivo y que inciden, tanto en la sustitución progresiva de fuentes energéticas contaminantes, como en la adopción de medidas que mejoren la eficiencia energética¹⁰. Sin embargo, la experiencia obtenida a partir de la intervención regulatoria llevada a cabo en España en los últimos 15 años, ha estado orientada, mayoritariamente, a la promoción de las energías renovables por encima de cualesquiera otras.

Como se muestra en el Gráfico 1.1, el esfuerzo en el gasto en I+D+i ha sido más que contenido, y prácticamente se ha mantenido constante a lo largo de los últimos 35 años en términos reales, salvo durante algunos años de la 2ª crisis del petróleo (1982-1984), y en el período 1990-1992. Además, si observamos la distribución de dicho gasto entre las principales fuentes, se aprecia cómo el esfuerzo investigador se viene centrando en el desarrollo de las fuentes renovables y en la energía de fuente nuclear, con notable menoscabo del apoyo a medidas que mejoren la eficiencia energética (Gráfico 2).

En este sentido, es claro el sesgo que se ha producido por parte de la política energética española hacia el objetivo intermedio de la sustitución de fuentes, lo que ha dado lugar a una peculiar composición de la tarifa eléctrica (como se ha visto en la nota nº 4), con el agravante de que no se ha llegado a trasladar a la propia tarifa todo el coste que representan las primas al régimen especial de generación, sino tan solo la anualidad financiera correspondiente a la enorme deuda acumulada que puede alcanzar la cifra de 29.000 millones de euros al finalizar 2012¹¹. En consecuencia, el impacto de la política

⁹ Basándose en el análisis del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPPC, siglas en inglés), la AIE plantea como escenario energético alternativo (BLUE) aquel que contempla una reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) del 50% para limitar el calentamiento global hasta 2-4 grados centígrados a finales de siglo. Así, según el último informe sobre Prospectiva de Tecnologías Energéticas 2008-2050 de la AIE, dentro del escenario BLUE, se concluye que una mejora en la eficiencia energética podría contribuir a la reducción global de emisiones en casi un 50%.

¹⁰ La Directiva 2006/32/CE estableció los aspectos básicos para regular los certificados de emisiones y fija un objetivo mínimo de ahorro energético del 9% en 2016, mientras que la Directiva 2009/28/CEE proponía objetivos a largo plazo para los Estados miembros en materia de producción renovable (en el caso de España, debería alcanzarse el 20%).

¹¹ El Real Decreto 14/2010 prevé que el déficit de tarifa debe anularse para 2013, lo que implica que el coste total de la producción y distribución de la electricidad deberá trasladarse necesariamente a la tarifa eléctrica. Sin embargo, el déficit anual acumulado a agosto de 2012 ya alcanzaba los 3.611 millones de euros, superando ampliamente los 1.500 millones autorizados para el conjunto de 2012 por parte de la citada norma.

energética hace que el sistema en su conjunto esté teniendo unos costes que más que duplican los de generación y que, progresivamente, se están haciendo cada vez más visibles para los demandantes finales de energía eléctrica. Además, esta tendencia de los últimos años se está viendo reforzada por la fuerte y persistente subida de los precios del crudo, acompañada de una gran volatilidad que obedece, en una parte importante, al repunte que ha experimentado la inestabilidad política en las regiones productoras.

Gráfico 1.1: Gasto público español en medidas de I+D+i para eficiencia energética (10⁶€ de 2010)

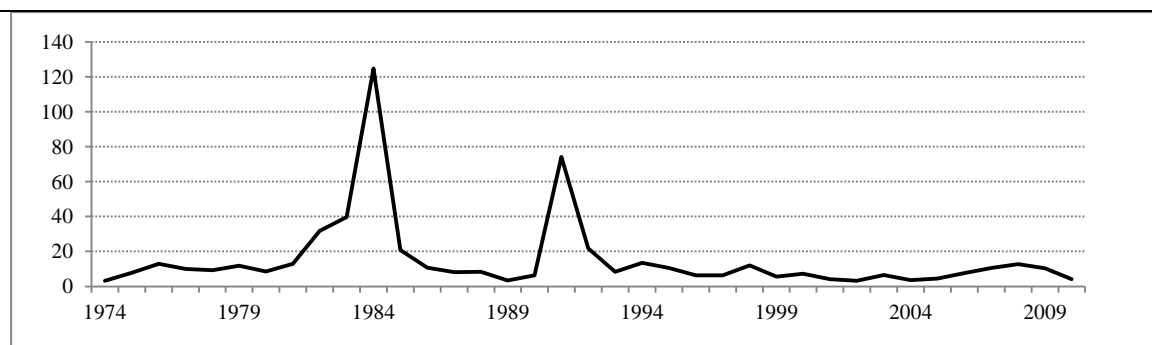
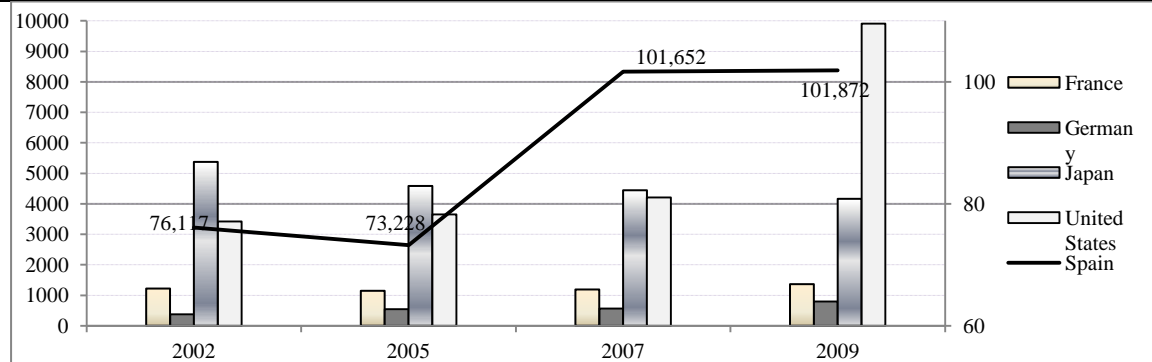
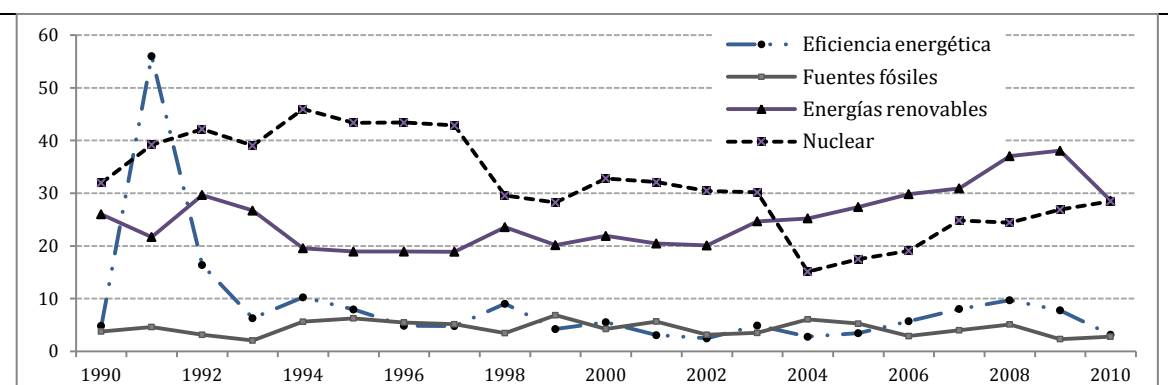


Gráfico 1.2: Evolución del gasto público en medidas de I+D+i por países



España: eje derecho. Fuente: AIE.

Gráfico 2: Gasto público en I+D+I energética en España por objetivo de la investigación (1990-2008)



En millones de euros de 2010. Fuente: AIE.

Aunque esta situación caracterizada por frecuentes períodos de volatilidad en los mercados del crudo no es nueva, puesto que viene arrastrándose desde la década de los pasados años setenta, la tendencia sostenida del precio al alza está potenciando una reorientación hacia el autoabastecimiento energético por parte de muchos países occidentales que no poseen recursos fósiles, reforzando de este modo las medidas que vendrían motivadas exclusivamente por razones ambientales.

El panorama energético actual en España, con una elevada dependencia de las importaciones de fuentes energéticas fósiles superior al 80% del total, unas necesidades de corrección de emisiones contaminantes que todavía alcanzan una gran dimensión a pesar del estancamiento del PIB durante 4 años, y un precio final de la energía por encima de la media europea merced al sobrecoste de las medidas de sustitución de fuentes impulsadas a lo largo de la última década, está elevando a la categoría de imprescindible la apuesta decidida por el otro objetivo intermedio de la política energética, hasta ahora casi abandonado: la consecución de mejoras de eficiencia en el sistema en su conjunto.

La opción preferente, hasta ahora, por las medidas regulatorias centradas en la sustitución de fuentes, ha supuesto un considerable desgaste del sector de las energías renovables al coincidir en unos pocos años dos circunstancias con implicaciones opuestas: la gran intensidad con que se han venido implantando las fuentes renovables, y la llegada de la profunda y pertinaz crisis económica. El choque entre la desmesurada cuantía que el Estado debe aportar en concepto de prima, y la caída no menos desmesurada de los ingresos públicos, ha dado lugar a retoques a la baja en las primas a percibir, generando un clima de incertidumbre sobre el sector de las renovables que puede complicar más el cumplimiento de los compromisos medioambientales por parte de España. Probablemente, las duras circunstancias actuales constituyan algo más que una excusa para cambiar la estrategia energética, ponderando más la eficiencia que la sustitución de fuentes.

Habría que confiar en que se lleve a cabo un estudio de coste beneficio para determinar la estrategia a seguir con el fin de alcanzar los objetivos energéticos finales, y evitar que sean los acontecimientos los que se pongan delante de la planificación para impulsar un cambio de estrategia más centrado en la mejora de la eficiencia energética. Fijarse como objetivo intermedio una mejora de la eficiencia implica actuaciones sobre empresas y sobre particulares, teniendo en cuenta que el ahorro esperado por la aplicación de estas medidas contribuye, no solo a reducir el nivel de emisiones de GEI a la atmósfera, sino que produce también desbordamientos (*spillovers*) positivos sobre la eficiencia en todo el sistema económico (ENERCLUB, 2009). En la estrategia de eficiencia, las medidas de oferta pasan necesariamente por aplicar un mayor esfuerzo en I+D+i, aspecto que, en el terreno de la investigación económica, ha llenado durante décadas incontables páginas cuyas conclusiones mayoritariamente refrendan las tesis del impacto significativamente positivo sobre la eficiencia de cualquier proceso productivo. Si el gasto privado en I+D+i se estima como positivo en este terreno, entonces el apoyo público a estas iniciativas quedaría justificado.

Ante esta serie de barreras, el papel reservado a la intervención pública pasa por incentivar el ahorro energético a través de diversos instrumentos regulatorios dirigidos a los demandantes finales de energía (empresas y particulares): formación, activación del mercado del ahorro y la eficiencia energética, e inducción de acciones encaminadas en esta dirección. Entre la batería de instrumentos regulatorios se encuentran los instrumentos económicos de precio y cantidad, las medidas de “mandato y control”, las medidas destinadas a mejorar la información y sensibilización de los consumidores, y la financiación de actividades de I+D+i, ya sea de iniciativa pública o privada.

Solo desde fechas recientes se vienen aplicando en España estrategias de eficiencia energética, instrumentadas por medio de los Planes de Acción para el Ahorro y la Eficiencia Energética: Plan 2005-2007, Plan 2008-2012 y el reciente Plan 2011-2020. Todos estos planes se basan en la financiación conjunta entre el sector público (Administración Central y CCAA) y el sector privado, aunque el esfuerzo público apenas

ha representado 1.500 millones de euros durante el periodo 2005-2010, lo que supone un esfuerzo anual de 250 M/€, cifra poco significativa si se compara con los 7.942 M/€ que costaron al sector público las renovables en 2010, o los 18.000 M/€ que va a costar el conjunto del sistema regulatorio energético en 2012 a las arcas públicas.

El plan de Acción 2008-2012 contemplaba un escenario que permitiría alcanzar el objetivo fijado por la UE para España de mejora de eficiencia energética en un 20% para 2020, lo que requeriría que la tasa de crecimiento interanual del consumo en energía primaria se redujera hasta el 1,07%. Sin embargo, la profundidad y duración de la actual crisis pronto ha dejado obsoletos los cálculos e, incluso, la estrategia general para el sector eléctrico. El Consejo de Ministros ha aprobado el 29 de julio de 2011, el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, de acuerdo con la Directiva 2006/32/CE, en lo que constituye el 2º Plan de Acción Nacional. El Plan incorpora un análisis coste-beneficio que arroja unos beneficios económicos totales de 78.687 millones de euros (8.330 millones de euros derivados de las emisiones evitadas de CO₂ y 70.357 millones por ahorro de energía primaria) para el conjunto del período, de los que el 53% corresponde a la industria, el 22% a los procesos de transformación de la energía y el 19% al transporte, con apenas impacto sobre la agricultura, los servicios públicos y el sector de edificación y equipamiento. De los cerca de 46.000 millones de euros en que se valoran las necesidades de inversión, la aportación pública se estima en el 10,8%, representando 552 M/€ por año, cifra que más que duplica la asignación de la etapa anterior (250 M/€), a pesar del escenario de recesión y de bajo crecimiento en el que se desenvuelve¹².

Sin duda que es importante actuar sobre la demanda final de energía de las empresas con medidas como las descritas, pues no en vano absorben más del 33% de la energía consumida. Los últimos informes disponibles apuntan a comportamientos ineficientes en el sector de las PYMEs, donde poco más de la mitad realizan labores de mantenimiento de sus instalaciones, menos del 10% han realizado auditorías energéticas y solamente el 27% han implantado alguna medida de ahorro. Y esto sin olvidar el ahorro potencial de los hogares españoles, puesto que son responsables del 30% del consumo; en este sentido, estimaciones realizadas ya en 2002 por UNESA, situaban el consumo energético en un 30% superior al consumo de un hogar medio en Europa¹³. Finalmente, la parte más importante del consumo energético final corresponde al sector del transporte, con un 37%, sector que es el principal responsable del incremento experimentado por el indicador de intensidad energética del sistema eléctrico en su conjunto (IDAE, 2011).

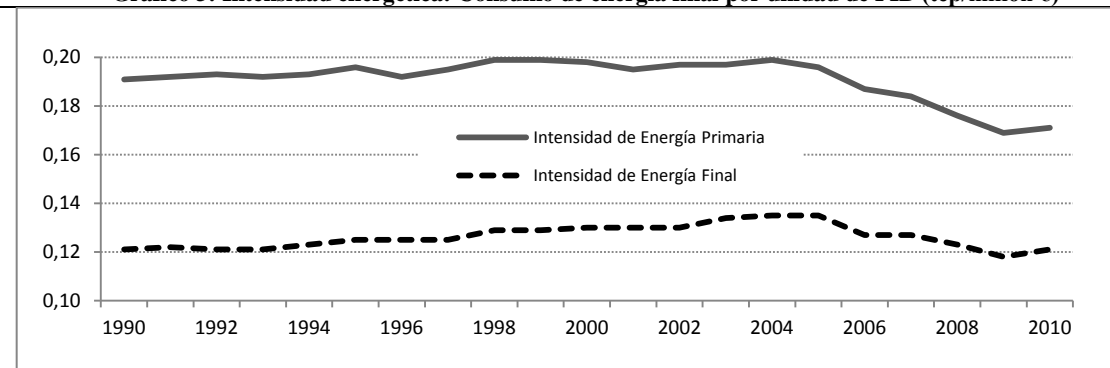
Como puede verse, todo apunta a que existe un importante recorrido para las políticas de fomento del ahorro energético y de mejora de la eficiencia, teniendo en cuenta que esta estrategia resulta complementaria a la de sustitución de fuentes para conseguir alcanzar los objetivos finales, tanto en lo que se refiere a la reducción de emisiones de gases contaminantes, como a la reducción de la dependencia exterior. Se trataría de lograr que el índice de intensidad energética flexione a la baja a medio y largo plazo, con independencia de los vaivenes que provoca el ciclo económico, rompiendo una tendencia que hasta 2005 parecía no tener fin, sobre todo cuando en el índice se utiliza la variable de energía final. Esto es lo que ilustra el Gráfico 3, donde la intensidad energética (IE) se calcula como el cociente entre el consumo energético y el PIB. En la serie que comienza en 1990, la IE ha seguido una senda ascendente al rebufo de un elevado ritmo de mejora

¹² Véase el Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020; IDAE.

¹³ Aproximadamente, el 30% del consumo energético lo realizan las familias españolas, correspondiendo el 15% al uso del coche y el otro 15% a los usos domésticos; dentro de éstos, destacan los gastos destinados a calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), aunque el consumo en climatización está aumentando muy rápidamente.

en el equipamiento de los hogares españoles, aun cuando a partir de 2007 el cambio de ciclo económico parece haber afectado notablemente a la demanda de este tipo de bienes de consumo duradero¹⁴.

Gráfico 3: Intensidad energética: Consumo de energía final por unidad de PIB (tep/millón €)



Metodología IEA. PIB en miles de millones de euros constantes de 2000.

Fuente: Secretaría General de Energía (SGE)

La evolución de la intensidad energética final en España en los años previos a la crisis constata una alejamiento respecto a media de la UE (IDAE, 2011), aunque el índice español comienza una senda convergente a partir de 2007. Según estos datos, los subíndices peor posicionados son el del sector servicios y del transporte, con un comportamiento más favorable en el sector residencial (hogares), mientras que el del sector industrial se encuentra más próximo a la media de la UE. De acuerdo con estas cifras, la reciente aprobación del Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, pretende incidir prioritariamente en el ahorro del sector industrial y en el del transporte, aunque las previsiones para este último son modestas (con una aportación del 19% a la mejora total esperada), probablemente basadas en la dificultad que entraña una ganancia significativa de eficiencia en el corto y medio plazo. Con todo, de cumplirse las previsiones del Plan, implicaría un cambio en la buena dirección de la política energética, generando desbordamientos positivos en términos de una contribución al PIB nacional del 3,9 % en el período y la creación de 300.000 puestos de trabajo.

El papel del I+D+i energético

Como ya advertimos al principio, el sector de la energía suele desenvolverse en mercados muy alejados del concepto al uso de competencia perfecta, lo que de una manera u otra afecta a las decisiones sobre inversión en I+D+i. En este caso, a las incertidumbres propias de cualquier mercado, se suma la incertidumbre adicional derivada de un mercado tan regulado como el eléctrico, lejos, por tanto, de lo que pudiera pensarse a primera vista, como viene ocurriendo en España con la cambiante regulación en los subsectores de las renovables y en el energético nuclear. Entre los factores que alimentan la incertidumbre en el sector energético y que dificultan las inversiones en intangibles como la I+D+i, tendríamos unos precios energéticos artificialmente bajos (al no incorporar todos los costes de suministro), los continuos cambios normativos que afectan a la

¹⁴ La estadística de equipamiento de los hogares de Eurostat y otras fuentes de muestreo, como las encuestas que viene realizando la Cámara de Comercio de Madrid, ilustran una pujante evolución positiva en el nivel de equipamiento de electrodomésticos en los hogares. Con todo, por citar una fuente no oficial, resulta también interesante el estudio de seguimiento periódico sobre eficiencia energética que afecta solamente a los hogares españoles, y que lleva a cabo Unión Fenosa, donde se pone de manifiesto una mejora sostenida del índice del 8,66% entre 2004 y 2011, equivalente a un ahorro energético de 222 M/€ año, estimando un valor económico para el ahorro potencial de 2011 de 1.407 M/€.

rentabilidad de la inversión en intangibles, la escasa información sobre avances técnicos, lo que genera dificultades para dar respuestas a la demanda, las propias imperfecciones en los mercados de capitales, o la falta de cultura científico-técnica y de innovación en España, por citar algunos.

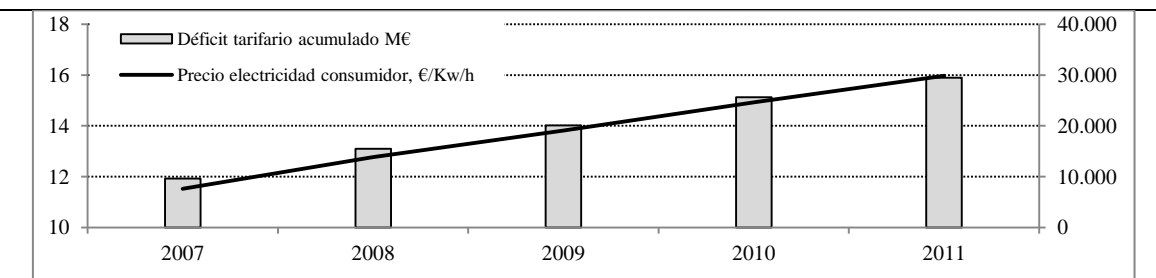
El papel de la I+D+i en los procesos energéticos ha adquirido especial relevancia en la literatura económica durante los últimos años. Algunas de las aportaciones más interesantes se han preocupado por identificar los principales condicionantes de la variación de la intensidad energética (Mendiluce *et al.*, 2010), por analizar la estructura productiva de una economía (Hang y Tu, 2007), por estudiar la evolución del precio de las distintas fuentes de energía (Feng, *et al.*, 2009), o por descomponer la estructura del consumo energético relacionándolo con el nivel de gasto público (Yuxiang y Chen, 2010). En particular, en los países avanzados se vienen observando medidas de política energética orientadas a:

- Potenciar el desarrollo y la innovación en las PYMES, aprovechando la agilidad de las mismas para la introducción de mejoras.
- La estandarización de procesos que permita la implantación del concepto de contabilidad energética.
- El desarrollo de tecnologías que permitan alcanzar economías de escala y la reducción de los costes de los equipos necesarios para la implantación de sistemas de gestión de energía.
- Mejorar la calidad y precisión de las medidas del consumo de energía, desarrollando el concepto de *automedición* de manera que cada equipo pueda informar sobre su desempeño energético individual.
- Acometer proyectos de integración de sistemas de gestión de energía que examinen tanto el lado de la oferta como el de la demanda.
- Desarrollar soluciones que proporcionen a los consumidores mejor información y en un formato más accesible para todas las personas, con el fin de que puedan adoptar conductas de mayor eficiencia energética.
- Aprovechar mejor los nuevos canales TIC (redes sociales, web 2.0, dispositivos móviles...) para extender las conductas de eficiencia desde ámbito individual al colectivo.

Toda esta estrategia pasa por la promoción de la investigación y el aumento de las capacidades de I+D+i en materia de eficiencia energética, potenciando el papel de los centros tecnológicos, las áreas de I+D+i y la investigación en universidades.

El análisis que proponemos en el siguiente apartado utiliza como marco conceptual el modelo empírico de crecimiento sostenible basado en la Curva de Kuznets Ambiental (CKA), ya utilizado por Cantos y Balsalobre (2011) para encontrar evidencia sobre la contribución de las fuentes renovables a la reducción de las emisiones contaminantes. Además, proponemos avanzar, en el futuro, en la línea propuesta por Fisher-Vanden, *et al.* (2004)¹⁵, para analizar la relación entre la intensidad energética y el esfuerzo público realizado en I+D+i.

¹⁵ Con el trabajo de Fisher-Vanden, *et al.* (2004) se demuestran que el esfuerzo innovador contribuye significativamente a la reducción de la intensidad energética en el contexto empresarial; algo que a nivel más general había sido apuntado por Porter y Van Der Linde (1995).

Gráfico 4: Evolución del precio de la electricidad y del déficit tarifario en España

Eje principal (izda.): precio electricidad (sin impuestos) €/kw/h; eje secundario (dcha.): déficit tarifario acumulado. Fuente: UNESA

Al observar los datos del gráfico, y teniendo en cuenta el elevado ritmo de implantación de las fuentes renovables en muy pocos años, es más que coherente formular la hipótesis de que el precio final de la energía eléctrica guarda cierta relación con la creciente importancia de las fuentes renovables en el mix energético, donde los costes unitarios son muy superiores a los de las fuentes tradicionales (Agostini y Padilla, 2010). Por otro lado, también cabe esperar que, a corto plazo, el conjunto de medidas de apoyo a la mejora de la eficiencia energética guarde una relación positiva con el precio final de la energía. Y ello a pesar de que, tanto para el caso de la sustitución de fuentes como para el de mejora de la eficiencia, no todos los costes han sido trasladados a los precios finales, como pone de manifiesto la persistente presencia de los déficits de tarifa a lo largo de más de una década.

A pesar de la importancia que se ha venido concediendo al sector energético y a la problemática del cambio climático dentro del Plan Nacional de I+D+i, resulta notoria la insuficiente planificación de la que ha adolecido la política energética nacional (IEA, 2009a), lo cual queda reflejado en los datos de un I+D+i energético cuyo peso en el PIB se mantiene constante en términos reales desde 1993 (ver Gráfico 1.1). Situación que contrasta con la elevada dedicación de recursos públicos a la promoción de las energías renovables que, junto con la nuclear, vienen acaparado en torno al 75% del total de recursos públicos destinados a la investigación en tecnologías energéticas durante los últimos años. Esta deficiencia ha sido objeto de atención por parte de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), que ha sugerido a España la necesidad de destinar una mayor cuantía de recursos a la investigación en aquellas áreas donde se presentan unas mayores necesidades de mejora en la eficiencia energética, tales como el sector del transporte (IEA, 2009a:137-144). En este sentido, toda intervención pública dirigida a corregir esas desviaciones con éxito, mejoraría el bienestar social neto siempre que los costes en que se incurre puedan ser absorbidos por las ganancias de bienestar obtenidas (Gillingham y Sweeney, 2010:128).

Además de que, en el plano teórico, parece fuera de toda duda la relación entre la I+D+i y la eficiencia energética, existen varios trabajos que han encontrado evidencia empírica. Por ejemplo, en Ruiz (2010) se ha encontrado evidencia de relación causal positiva entre los recursos públicos dedicados a la investigación en energía y la mejora en la intensidad energética, refrendando la hipótesis que subyace en este tipo de políticas y, por tanto, la eficacia de la intervención pública. Es sabido que en presencia de un fallo de mercado, los beneficios privados de una inversión en I+D+i estarían por debajo de los beneficios sociales, y una adecuada intervención pública contribuiría a alcanzar el óptimo social (Arrow, 1962; Griliches, 1992). En esta misma dirección, Fisher-Vanden, *et al.* (2004) también han demostrado que el gasto en I+D+i es un factor que contribuye de manera importante a la reducción de la intensidad energética empresarial.

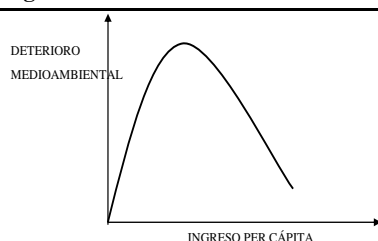
4.- El modelo CKA y la eficacia de la política energética

Diversos estudios empíricos han puesto de manifiesto que se produce una interacción entre el crecimiento económico y la contaminación, de manera que la degradación medioambiental es una función, en forma de U-invertida, creciente hasta un determinado nivel de renta crítica, a partir del cual mejoras operadas en el nivel de renta se asocian, a su vez, con mejoras en el nivel de calidad ambiental (Grossman y Krueger, 1991), en lo que ha venido a conocerse como la Curva de Kuznets Ambiental (CKA). Con esta aportación pionera se inicia el estudio empírico de la relación entre el crecimiento económico y la degradación medioambiental, dando lugar a diversos trabajos posteriores que han aportado evidencia empírica, tanto a favor como en contra, sobre la CKA. En este sentido, la hipótesis de la CKA presenta ciertas características que le confieren ventaja en el estudio empírico de la relación entre el crecimiento económico y la degradación medioambiental (De Castro, 2009:106; Cantos y Balsalobre, 2011).

De acuerdo con la exposición que se realiza en Correa (2004:13), la expresión general de la Curva de Kuznets Ambiental puede establecerse como:

$$EP = \alpha_{i,t} + \beta_1 Y_{i,t} + \beta_2 Y_{i,t}^2 + \beta_3 Y_{i,t}^3 + \beta_4 t + \beta_5 Z_{i,t} + e_{i,t} \quad (1)$$

Figura 1: Curva de Kuznets Ambiental (CKA)



La CKA adopta la forma de U-invertida en el sentido de que, una vez que la economía alcanza cierto nivel de renta (la parte alta de la curva), la contaminación medioambiental comienza a disminuir conforme continúa aumentando dicho nivel de renta

Fuente: Elaboración propia

donde el subíndice i señala el país o región, t indica el momento del tiempo, α es el promedio de presión ambiental cuando el ingreso no tiene especial relevancia sobre dicha variable, β representa la importancia relativa de las variables exógenas, Z_{it} permite incorporar otras variables de influencia sobre la presión ambiental, mientras que $e_{i,t}$ es el término de error, normalmente distribuido. Así pues, la anterior expresión permite identificar distintas formas de la relación entre medio ambiente y nivel de ingresos, así como los comportamientos inducidos al incorporar otras variables.

Hay que señalar que el análisis empírico de la CKA tiene un estrecho vínculo con el desarrollo tecnológico y con las mejoras medioambientales (Andreoni y Levinson, 1998). De hecho, el modelo propuesto por estos autores desagrega el efecto total de la reducción de la contaminación medioambiental en tres componentes: un *efecto de escala*, que recoge un aumento en los niveles de polución conforme aumenta la actividad; un *efecto composición*, que se explica a través de la evolución o tercerización de las economías, de modo que este efecto generaría la forma de U-invertida de la curva; y, por último, un *efecto progreso tecnológico* y de eliminación de polución, en el sentido de que, a medida que aumenta la renta, se produce una disminución de la contaminación medioambiental como consecuencia de la aplicación de mejoras tecnológicas.

Sin embargo, conviene aclarar que el crecimiento económico no resolverá, por sí solo, los problemas de contaminación puesto que, en ausencia de regulación ambiental, la trayectoria descrita por la relación “nivel de ingresos/contaminación”, aun teniendo forma de U-invertida, puede llevar a que se alcance el tramo descendente de la curva (reducción de la contaminación) para un nivel de ingresos excesivo e innecesariamente elevado: teóricamente, el modelo no establece límite alguno en el nivel de ingresos necesario para generar la reducción de la contaminación. De este modo, el modelo CKA, no solo resulta compatible con la incorporación de medidas de regulación medioambiental, sino que el uso de variables explicativas, como las tecnologías de descontaminación, adquiere un gran valor interpretativo a la hora de explicar el fenómeno descrito.

La hipótesis de la CKA asume que, conforme los países son económica y socialmente más avanzados, conceden una mayor importancia a las actividades de reciclaje y eliminación de residuos y que existen cambios paulatinos en las economías que modifican conductas medioambientales (p.e., el propio proceso de terciarización de las economías conduce a un proceso de reducción en el nivel de emisiones GEI). Estos procesos de cambio guardan relación con el tipo de políticas medioambientales utilizadas, con los niveles de educación ciudadana, con el grado de protección de los derechos de propiedad privada y con otras acciones que adoptan los países para mejorar su calidad medioambiental conforme aumentan su nivel de desarrollo. Finalmente, y a pesar de que queda más alejado de nuestra preocupación en este trabajo, hay que señalar que la relocalización internacional de las actividades contaminantes también tiene cabida en el modelo CKA.

Puesto que existe una necesidad, difícilmente soslayable, de utilizar la forma reducida del modelo CKA en el contraste empírico, no siempre es posible explicar con claridad los coeficientes obtenidos al producirse relaciones de causalidad indirecta, en lo que constituye un “eslabón perdido” de esta metodología que bien podría acotarse analizando tres tipos de impactos sobre las emisiones: la regulación ambiental, el aporte tecnológico y la composición industrial (Grossman y Krueger, 1995). A partir de esta proposición, Torras y Boyce (1998) concluyen que es la regulación ambiental el componente más importante para acelerar un cambio tecnológico capaz de reducir el nivel de contaminación.

Por ejemplo, Grossman y Krueger (1995) consideran que el efecto “composición industrial” se origina debido a que un ingreso per cápita creciente puede venir acompañado de una reducción de la intensidad marginal de la contaminación del producto, siempre que los sectores más intensivos en contaminación se contraigan, ya que, en caso contrario, no podrá contrarrestarse el efecto escala del impacto ambiental resultante del mayor nivel de producto agregado. Ahora bien, puede suceder que el efecto tecnológico sobrepase al efecto escala cuando los sectores contaminantes produzcan bienes inferiores, lo que va a provocar que el consumo caiga con el aumento del ingreso, o bien, que se produzca una sustitución por importaciones (Panayotou, 1997).

Ha sido la teoría endogenista la que más ha puesto de manifiesto el impacto del progreso tecnológico sobre el comportamiento de la relación ‘nivel de ingresos/medio ambiente’, debido a la mejora que experimentan los procesos de producción, incrementando la capacidad de sustitución de los recursos altamente contaminantes o degradantes por otros más ecológicos (Steger, 1996; Stokey, 1998, entre otros). Estos modelos defienden que una sociedad comprometida con la protección medioambiental está capacitada para invertir una cantidad de recursos cada vez mayor en su protección a medida que aumenta la renta. Si la contaminación disminuye con el incremento en el nivel de ingresos, el

efecto tecnológico jugará un papel importante, de modo que la contaminación total disminuirá sistemáticamente a medida que el ingreso per cápita aumente, lo que explicaría que la causa fuese la ‘innovación inducida’, en el sentido de Hicks. En resumen, dentro de la hipótesis de la CKA aparece implícitamente una teoría de la “innovación inducida” que apunta que, a medida que se incrementa el nivel de ingreso, las sociedades se encuentran más capacitadas para compensar los fallos de mercado. Además, Andreoni y Levinson (1998) consideran que, aun suponiendo que el medio ambiente fuese un bien normal donde los individuos maximizan su nivel de utilidad, la hipótesis de la CKA es razonable como consecuencia de la propia naturaleza de las tecnologías de reducción de contaminación ambiental, de modo que el cumplimiento de la CKA depende, fundamentalmente, de la tecnología, más que de las externalidades ambientales inherentes al crecimiento económico.

Al objeto de seguir un orden lógico en la aplicación del modelo, estimaremos ahora la relación entre el nivel de emisiones de GEI_{pc} y el gasto público en I+D+i energético que se ha venido realizando desde la década de los noventa en España. A continuación, se llevará a cabo una desagregación del gasto total en I+D+i energético, utilizando por separado el I+D+i en eficiencia energética y el gasto en I+D+i realizado en fuentes renovables. En este trabajo tomamos como referencia la metodología y los resultados obtenidos en Cantos y Balsalobre (2011), donde se analiza la relación entre el crecimiento económico -en términos de PIB per cápita- y un patrón de consumo energético que enfrenta el consumo energético de procedencia renovable con el consumo energético de fuentes convencionales, encontrando evidencia de una contribución positiva de las medidas de promoción de las energías renovables sobre la reducción en el nivel de emisiones de gases de efecto invernadero en España.

Una vez que analizamos la aportación del esfuerzo tecnológico conjunto y por separado, estudiamos si los resultados son coherentes con el comportamiento esperado. El punto donde la función que relaciona el nivel de renta con la contaminación, se vuelve negativa, representaría el nivel de renta crítico en el que se quiebra dicha relación creciente entre renta y contaminación, dentro del tramo relevante. Cuando se introducen, de forma alternativa, otras variables explicativas, el punto de quiebra se ve afectado por los cambios introducidos, reflejando la contribución diferencial de cada variable al resultado, teniendo en cuenta que cuanto mayor sea el nivel de renta crítico (el punto de quiebra), más ineficaces resultan el conjunto de medidas de política energética que se esconden detrás de la variable. Nótese que, por construcción, el modelo no puede aportar resultados estrictos sobre la eficiencia de las medidas que se reflejan en las variables, puesto que ninguna incluye precios, sino tan solo cantidades. Sin embargo, de forma indirecta sí pueden utilizarse los resultados para completar razonamientos fuera de este marco analítico.

Las variables utilizadas y las fuentes de las que proceden, son las siguientes:

- *Variable endógena GEI_{pc}*: La emisión de gases de efecto invernadero refleja la evolución de la principal variable generadora del impacto sobre el cambio climático. El uso de las emisiones de GEI y, particularmente, el CO₂ (dióxido de carbono, cuyo peso en la estructura de GEI es de, aproximadamente, el 80% del total). Fuente: M^o de Medio Ambiente.

Variables independientes:

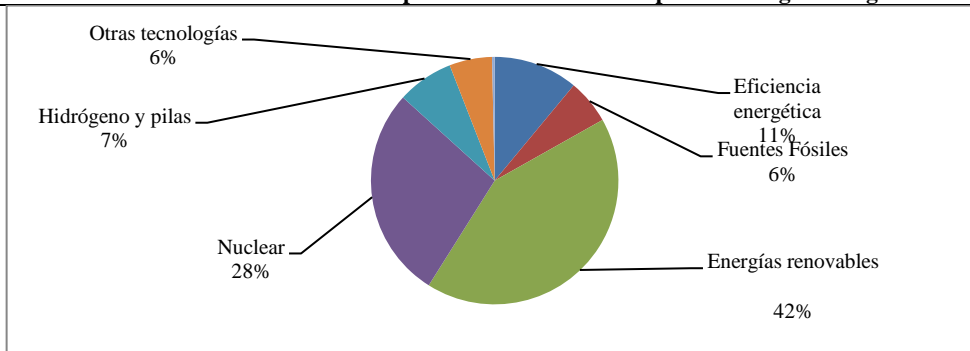
- PIB_{pc} (€/pc₂₀₀₀): nivel de renta, en términos per cápita (a precios constantes del año 2000), 1990-2008. La variable PIB²_{pc} permite validar la forma funcional

cuadrática en forma de U-invertida entre el nivel de emisiones y el nivel de renta per cápita (Correa, 2007:22). La fuente es INE.

- $I+D+Energtot(-2)$; $I+D+i renov(-2)$; $I+D+i efi-ener(-2)$. Representan el Gasto Público en I+D+i en el sector energético en España, en renovables y en eficiencia energética, respectivamente, con un retardo de dos periodos. Los datos han sido elaborados por la AIE (2011): “IEA Energy Technology R&D Statistics, Database, donde se desagrega a nivel nacional el presupuesto público en I+D+i destinado a eficiencia energética, energías renovables, nuclear, así como el resto de actividades energéticas, como son fuentes fósiles y otros (Gráfico 5). Su elaboración se hace a precios y tipo de cambio de 2010, y están en términos per cápita (INE, 2012).

La ecuación a estimar utiliza como variable endógena las emisiones de gases de efecto invernadero en España en términos per cápita (GEI_{pc}), para el periodo 1990-2008¹⁶. Una primera versión del modelo (Modelo 1) permitirá ver cuál es el punto de quiebra de la CKA, indicando los requerimientos de renta per cápita necesarios para que la sociedad empiece a experimentar una reducción en el nivel de GEI per cápita. Siguiendo la metodología habitualmente utilizada por muchos trabajos de este tipo, la estimación se lleva a cabo mediante una regresión lineal por mínimos cuadrados ordinarios (MCO), utilizando como variables independientes la renta per cápita a precios constantes de 2000 (PIB_{pc}), así como la expresión cuadrática de dicha variable (PIB_{pc}^2), responsable de la forma de U-invertida de la función principal (Correa, 2007:22)¹⁷.

Gráfico 5: Distribución del Presupuesto Público en I+D+i por Tecnología Energética



Fuente: IAE (2010)

TABLA 1

Modelo 1: $GEI_{pc}(t) = \alpha + \beta_1 PIB_{pc}(t) + \beta_2 PIB_{pc}^2(t) + \varepsilon(t)$

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 1990-2008 (T = 19)

Variable dependiente: GEI_{pc}

	Coefficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p	
Const	-0,995786	3,55845	-0,2798	0,78319	
PIB _{pc}	0,000972392	0,000494274	1,9673	0,06673	*
PIB _{pc} ²	-2,09432e-08	1,67949e-08	-1,2470	0,23034	

¹⁶ El motivo por el que cortamos la serie histórica en 2008 se debe a dos razones. Por un lado, con el objeto de poder comparar directamente los resultados obtenidos en Cantos y Balsalobre (2011) con los actuales. Por otro, se trata de evitar los efectos no deseados de la profunda y persistente caída del PIB durante los años de la crisis, sobre el resultado de la estimación.

¹⁷ La literatura empírica viene verificando el cumplimiento de la CKA a través de un modelo de regresión lineal estimado por MCO. Este método ha sido ampliamente utilizado para analizar la relación entre el crecimiento económico y la degradación medioambiental (Grossman y Krueger, 1991; Andreoni y Levinson, 1998; Correa, 2004; Saravia, 2004, entre otros).

Punto de quiebra de la CKA ($-\beta_1/2 \beta_2$) = 23.214,98 €			
Media de la vble. dep.	8,731053	D.T. de la vble. dep.	0,981467
Suma de cuad. residuos	2,489850	D.T. de la regresión	0,394481
R-cuadrado	0,856402	R-cuadrado corregido	0,838452
F(2, 16)	47,71093	Valor p (de F)	1,81e-07
Log-verosimilitud	-7,653774	Criterio de Akaike	21,30755
Criterio de Schwarz	24,14087	Crit. de Hannan-Quinn	21,78706
Rho	0,683790	Durbin-Watson	0,695198
Hipótesis nula: no hay autocorrelación			
Hipótesis nula: no hay heterocedasticidad			
Contraste CUSUM de estabilidad de los parámetros - Hipótesis nula: no hay cambio en los parámetros			
Contraste de normalidad de los residuos - Hipótesis nula: el error se distribuye normalmente			

Como se indica en la Tabla 1, los requerimientos de renta para que comience a corregirse el deterioro medioambiental parecen considerablemente elevados, cumpliéndose la forma cuadrática en forma de U-invertida ($\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$), en los términos esperados. En este caso, el ajuste tiene una bondad (R-cuadrado) de 0,8564, mientras que los test de contraste indican normalidad en el comportamiento de los residuos, no apareciendo cambio de estructura ni autocorrelación ni heterocedasticidad. En particular, la estimación del modelo sitúa el nivel de renta per cápita a partir del cual, ceteris paribus, las emisiones comienzan a retroceder, en 23.215 euros, cifra que todavía no se había alcanzado en España en 2008.

A continuación, en el Modelo 2 se incorpora a la ecuación a estimar la variable gasto público en I+D+i energético, con el fin de poder comparar los resultados con los del Modelo 1. Esta variable pretende capturar la contribución pública a la mejora de la eficiencia, lo que debería tener su reflejo en el indicador de intensidad energética. Resulta de interés saber si el Modelo 2 mejora los requerimientos de renta per cápita para alcanzar la corrección medioambiental, en términos de PIB_{pc}. Para ello incorporamos al análisis la variable $I+D+i \text{ enertot}(-2)$, que representa el nivel de gasto público en I+D+i en el sector energético, con un retardo de dos años. La introducción de un retardo en la variable permite capturar el lapso temporal necesario para que el impacto del gasto con esta finalidad tenga su reflejo en la tecnología aplicada y, finalmente, en las emisiones contaminantes, puesto que la incorporación tecnológica no se produce de manera inmediata. El número de años de retardo que mejor se ha comportado en el ajuste ha sido dos.

TABLA 2				
Modelo 2: GEIPC(t) = $\alpha + \beta_1 \text{ PIBPC}(t) + \beta_2 \text{ PIB}^2_{pc}(t) + \beta_3 \text{ I+D+i enertot}(-2) + \varepsilon(t)$				
Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1992-2008 (T = 17)				
Variable dependiente: GEIpc				
	Coefficiente	Desv. Típica	Estadístico t	Valor p
const	-6,38143	4,72431	-1,3508	0,19981
PIBpc	0,00185986	0,000616297	3,0178	0,00989 ***
PIB ² pc	-5,22269e-08	2,02564e-08	-2,5783	0,02293 **
I+D+i enertot(-2)	-376,232	204,667	-1,8383	0,08897 *

Punto de quiebra de la CKA ($-\beta_1/2 \beta_2$)= 17.805,57 €,			
Media de la vble. dep.	8,887647	D.T. de la vble. dep.	0,912206
Suma de cuad. Residuos	1,545044	D.T. de la regresión	0,344746
R-cuadrado	0,883953	R-cuadrado corregido	0,857172
F(2, 16)	33,00774	Valor p (de F)	2,40e-06
Log-verosimilitud	-3,737587	Criterio de Akaike	15,47517
Criterio de Schwarz	18,80803	Crit. de Hannan-Quinn	15,80647
Rho	0,415134	Durbin-Watson	1,120404
Hipótesis nula: no hay autocorrelación			
Contraste CUSUM de estabilidad de los parámetros Hipótesis nula: no hay cambio en los Parámetros.			
Contraste de normalidad de los residuos - Hipótesis nula: el error se distribuye normalmente.			

La estimación del Modelo 2 también cumple con los test realizados, a la vez que ve aumentada la bondad del ajuste medido por el R^2 corregido (hasta el 85,7%), y responde también a la forma de U-invertida de la CKA ($\beta_1 > 0$, $\beta_2 < 0$). En este caso, el nivel de renta per cápita necesario para que se dé un techo en las emisiones contaminantes (GEIpc), se produce en los 17.806 euros, un nivel muy inferior al que se daría en ausencia de la variable $I+D+i \text{ energtot}(-2)$. El análisis del resultado se sujeta a las limitaciones de cualquier análisis parcial y debe interpretarse en el sentido de que el esfuerzo en I+D+i público se asocia positivamente con la reducción de la contaminación, siendo más importantes las diferencias relativas entre los valores obtenidos de renta per cápita, que las absolutas. Es suficiente con interpretar la aportación positiva de la variable a la corrección ambiental y su eficacia al lograr reducir los requerimientos de renta para que se frene el ascenso de las emisiones contaminantes. Los signos de los coeficientes obtenidos para β_1 y β_2 , correspondiente a la variable $I+D+i \text{ energtot}(-2)$, responden a lo esperado, y su valor resulta significativo.

Tal y como se ha señalado en el apartado anterior de este trabajo, ante los objetivos generales representados por el control de emisiones contaminantes, la reducción de la dependencia energética y el logro de un mercado energético español más eficiente, resulta fácil observar que la prioridad de la política energética española se ha centrado más en el objetivo intermedio de la sustitución de fuentes contaminantes por otras renovables y más limpias, para lo que se han movilizado importantes cantidades de recursos públicos con este fin. Sin embargo, nuestra preocupación en este trabajo gira sobre el esfuerzo público para fomentar la mejora tecnológica en el sistema energético, ingrediente básico de las ganancias en eficiencia que se pretenden alcanzar.

Por eso, el siguiente paso a dar consiste en estimar el modelo sustituyendo la variable utilizada que recoge la aportación pública total a la I+D+i energética ($I+D+i \text{ enertot}(-2)$), por otra que recoja tan solo la aportación pública a la I+D+i vinculada a energías renovables ($I+D+i \text{ renov}(-2)$), donde utilizaremos el mismo retardo.

TABLA 3
Modelo 3: $GEIPC(t) = \alpha + \beta_1 PIBPC(t) + \beta_2 PIB^2_{pc}(t) + \beta_3 I+D+i \text{ renov}(-2) + \varepsilon(t)$
Modelo 3: MCO, usando las observaciones 1992-2008 (T = 17)
Variable dependiente: GEIpc

	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
Const	-7,14954	7,37407	-0,9696	0,34996	
PIBpc	0,0017829	0,000903889	1,9725	0,07021	*
PIB ² pc	-4,6547e-08	2,95228e-08	-1,5766	0,13889	
I+D+i renov(-2)	-308,891	1481,27	-0,2085	0,83805	
Punto de quiebra de la CKA (-β1/2 β2)= 19.151,61 €,					
Media de la vble. dep.	8,887647	D.T. de la vble. dep.		0,912206	
Suma de cuad. residuos	1,940174	D.T. de la regresión		0,386321	
R-cuadrado	0,854275	R-cuadrado corregido		0,820646	
F(2, 16)	25,40297	Valor p (de F)		0,000010	
Log-verosimilitud	-5,673250	Criterio de Akaike		19,34650	
Criterio de Schwarz	22,67935	Crit. de Hannan-Quinn		19,67779	
rho	0,461896	Durbin-Watson		0,927213	
Hipótesis nula: no hay autocorrelación					
Contraste CUSUM de estabilidad de los parámetros - Hipótesis nula: no hay cambio en los parámetros					
Contraste de normalidad de los residuos - Hipótesis nula: el error se distribuye normalmente					
Contraste de heterocedasticidad de White - Hipótesis nula: No hay heterocedasticidad					

En la Tabla 3 se presentan los resultados correspondientes a la estimación del modelo incluyendo esta variante. La bondad del ajuste medido por el R^2 corregido se ha reducido, aunque los test realizados siguen otorgando validez a la estimación. En este caso, el calculo realizado para determinar el punto de quiebra arroja un nivel de renta per cápita de 19.152 euros, cifra que es inferior a la que se daría bajo la hipótesis de no existir ninguna acción de corrección medioambiental, pero que es superior a la que se daría bajo la hipótesis de incorporar todo el gasto público en I+D+i energético. Los signos de los coeficientes β_1 y β_2 son los esperados, por lo que la contribución de la variable $I+D+i\ renov(-2)$ a la corrección ambiental es positiva.

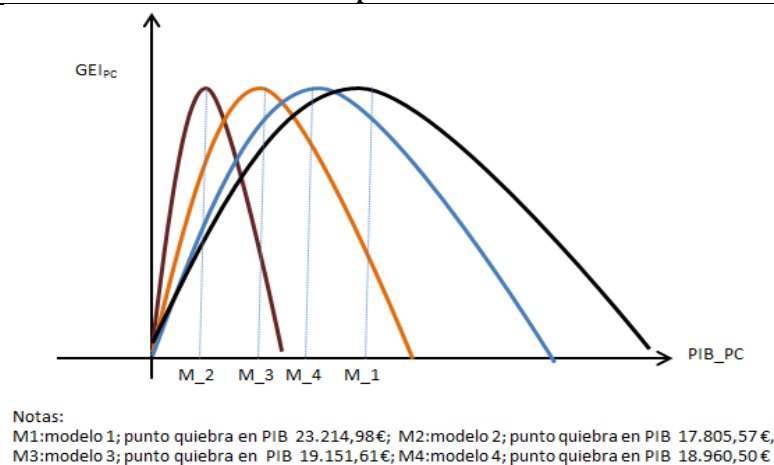
TABLA 4					
Modelo 4: GEIPC(t)= $\alpha + \beta_1 PIBPC(t) + \beta_2 PIB^2pc(t) + \beta_3 I+D+i\ efi-ener(-2) + \varepsilon(t)$					
Modelo 4: MCO, usando las observaciones 1992-2008 (T = 17)					
Variable dependiente: GEIpc					
	<i>Coficiente</i>	<i>Desv. Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	-7,59611	5,87173	-1,2937	0,21829	
PIBpc	0,00182785	0,000764356	2,3914	0,03261	**
PIB ² pc	-4,82015e-08	2,46978e-08	-1,9516	0,07286	*
I+D+i efi-ener(-2)	-90,0117	385,991	-0,2332	0,81924	
Punto de quiebra de la CKA (-β1/2 β2)= 18.960,50€,					
Media de la vble. dep.	8,887647	D.T. de la vble. dep.		0,912206	
Suma de cuad. residuos	1,938554	D.T. de la regresión		0,386160	
R-cuadrado	0,854396	R-cuadrado corregido		0,820795	
F(2, 16)	25,42781	Valor p (de F)		0,000010	
Log-verosimilitud	-5,666153	Criterio de Akaike		19,33231	
Criterio de Schwarz	22,66516	Crit. de Hannan-Quinn		19,66360	
rho	0,522855	Durbin-Watson		0,861350	
Hipótesis nula: no hay autocorrelación					
Contraste CUSUM de estabilidad de los parámetros - Hipótesis nula: no hay cambio en los parámetros					

Contraste de normalidad de los residuos - Hipótesis nula: el error se distribuye normalmente
 Contraste de heterocedasticidad de White - Hipótesis nula: No hay heterocedasticidad

Finalmente, en la Tabla 4 presentamos los resultados de la estimación cuando se sustituye la variable que representa el gasto público en I+D+i en renovables, por otra que recoge el mismo gasto pero en eficiencia energética *I+D+i efi-ener(-2)*. Además de que esta estimación comparte con la estimación de la Tabla 3 una menor bondad del ajuste en relación a las dos primeras realizadas, en esta ocasión el cálculo asociado al punto de quiebra arroja una renta per cápita necesaria para que éste se produzca, de 18.961 euros.

Con ayuda de la Figura 2 se pueden visualizar mejor los resultados que se desprenden de las cuatro estimaciones antes referidas, en lo que tiene que ver con el punto de quiebra obtenido en cada caso, y con el consecuente requerimiento de renta per cápita. Dado un nivel determinado de emisiones contaminantes, la renta per cápita necesaria para que se produzca la quiebra del ritmo ascendente de las emisiones, será más elevada en ausencia de medidas correctoras (M1) que cuando se cuenta con alguna de ellas. La diferencia existente en el requerimiento de renta entre M1 y cualquiera de los demás resultados, es muy significativa, confirmando la hipótesis de la estrecha relación entre el esfuerzo en corrección ambiental mediante el conjunto de políticas de I+D+i (M2), y la contención de las emisiones contaminantes. Ahora bien, cuando se utilizan datos desagregados, tan solo puede apreciarse una ligera diferencia en la contribución al ajuste que realiza el gasto público en I+D+i en renovables (M3), en relación a la que se produce al utilizar dicho gasto público destinado exclusivamente a mejorar la eficiencia energética (M4).

Figura 2: Estimaciones del modelo CKA para cada una de las cuatro variantes utilizadas



Fuente: Elaboración propia

La diferencia, aunque escasa, avala el argumento de que la I+D+i en eficiencia energética contribuye en mayor medida a la corrección ambiental que el mismo gasto en energías renovables, si bien, los resultados obtenidos no permiten extraer una conclusión definitiva, puesto que cualquier error o sesgo que afecte a las series utilizadas podría dejarla sin efecto. Por otro lado, la mayor contribución de la variable I+D+i a la reducción de la renta necesaria para alcanzar el techo de emisiones que se produce en M2, en relación a M3 y M4, podría venir explicada por el hecho de que la primera variable incluye partidas de gasto que no se encuentran en ninguna de las otras dos variables,

como por ejemplo la I+D+i en investigación de energía nuclear, que absorbe un importante porcentaje de recursos con esta finalidad (véase Grafico 2)¹⁸.

Finalmente, y aunque fuera del objetivo principal de este trabajo, hemos comparado los resultados aquí obtenidos con los alcanzados en Cantos y Balsalobre (2011), por lo que se refiere al punto de quiebra de la función, donde se relacionaba el nivel de emisiones GEIpc con la incorporación de una variable denominada PATROCEN, que representaba el cambio en el patrón de consumo energético nacional orientado hacia el incremento del peso de las energías renovables. El nivel de renta correspondiente al punto de quiebra que se obtuvo ascendía a 18.054 euros, mientras que nuestro modelo M2 sitúa al punto de quiebra en el equivalente a una renta por cápita de 17.806 euros, cifras muy cercanas a pesar de que la ecuación entonces estimada incluía otras diferencias¹⁹.

5.- Conclusiones

Para un país como España que cuenta con un importante nivel de desarrollo económico, el mantenimiento de una tasa de crecimiento compatible con una reducida tasa de desempleo, y compatible, a su vez, con una contención de las emisiones de gases contaminantes, pone inevitablemente el acento en la necesidad, tanto de buscar una sustitución de fuentes energéticas primarias en pro de unos patrones de consumo menos nocivos, como de reducir la intensidad del consumo energético. Durante la última década, el gasto público asociado con las políticas energéticas ha estado muy sesgado hacia la promoción de fuentes renovables, pero se ha llevado a cabo muy mayoritariamente mediante el establecimiento de precios a la producción muy superiores a los de mercado, en detrimento de la promoción directa de la innovación tecnológica en el ámbito del uso final de esa energía para fines de producción intermedia de bienes y servicios energéticamente más eficientes.

Además del escaso aporte directo del presupuesto público a la I+D+i energética, tampoco puede decirse que esta partida se haya volcado con las medidas de mejora de la eficiencia energética, a pesar de que el índice español de intensidad energética nos aleja de la media europea y, especialmente, de los países avanzados. Aunque en las economías desarrolladas se viene observando una disminución progresiva de los recursos públicos destinados a la I+D+i en el sector de la energía, también es cierto que esta tendencia ha discurrido de forma paralela a la reducción de sus niveles de intensidad energética (Ruiz, 2010), cosa que no ha ocurrido en España. Con todo, los problemas derivados de un persistente déficit de atención pública a la I+D+i energética no acaban ahí, sino que, como ya señalaran Mansfield y Switzer (1984), simultáneamente se está desincentivando la inversión adicional y complementaria del sector privado en esta misma dirección.

El importante y persistente déficit del gasto público dedicado a la I+D+i energética es difícil que se vea mejorado a corto y medio plazo, debido a la escasez de recursos públicos en época de crisis y debido también a la hipoteca en que se han convertido los

¹⁸ Se ha realizado una nueva estimación del modelo utilizando una variable representativa del gasto en I+D+i en energía nuclear, retardada también en dos períodos, y los resultados son coherentes con lo esperado. El ajuste presenta una bondad de 87,8% (R-cuadrado) y el punto de quiebra de la CKA se alcanza en los 16.550€, cifra inferior a la obtenida al aplicar el modelo M2. En este esquema de análisis, el resultado indicaría una mayor eficacia del I+D+i nuclear, y estaría relacionado con las menores emisiones asociadas con esta fuente.

¹⁹ La ecuación aludida que se estimó es la siguiente: $GEIpc_t = \alpha + \beta_1 PIBpc_t + \beta_2 PIB^2pc_t + \beta_3 GINI_t + \beta_4 PATROCEN_t + \epsilon_t$, donde PATROCEN es, como ya se ha dicho, una variable que recoge el patrón de consumo energético que diferencia entre energía procedente de fuentes renovables y no renovables, y donde GINI es una variable que representa un índice de desigualdad económica que se introdujo con el fin de obtener evidencia de su contribución positiva a la corrección ambiental, o negativa, como algunos autores sostienen.

compromisos por pago de primas a los productores de energías renovables, sobre todo de origen fotovoltaico, alejándose del escenario que viene recomendando a España la Agencia Internacional de la Energía, caracterizado por la necesidad dedicar muchos más recursos a la investigación en las áreas donde existe un mayor margen mejora tecnológica, sobre todo en el sector del transporte (AIE, 2009).

Siguiendo algunas referencias en la literatura económica, donde se vincula la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero con la intensidad energética (Kaya, 1989; Alcántara y Roca, 1995), en el presente trabajo hemos adoptado una variante en relación a dichos estudios, aplicando una versión cuadrática del modelo de la Curva de Kuznets Ambiental (CKA) para estudiar dos aspectos: primero, si hay una relación significativa entre el esfuerzo de la I+D+i pública realizada en España y las emisiones de contaminantes a la atmosfera medidas por el CO₂; segundo, cual es el nivel de renta per cápita a partir del cual se invertiría la tendencia alcista de las emisiones contaminantes. En cuanto al primero, en las tres estimaciones realizadas hemos podido obtener evidencia de que hay una relación negativa y significativa entre los distintos componentes de la I+D+i pública utilizados, y el nivel de emisiones de gases contaminantes, lo que debe interpretarse en el sentido de que el gasto publico en investigación energética se asocia indudablemente con menores emisiones contaminantes.

En cuanto a la segunda cuestión, hemos obtenido que el punto de quiebra de la función que describe las emisiones contaminantes y la renta per cápita, se alcanza para una renta de 23.215 euros, en caso de no tener en cuenta el gasto público total en I+D+i energético, mientras que al tenerlo en cuenta el nivel requerido de renta per cápita es de tan solo 17.806 euros, lo que significa que se daría un considerable ahorro para conseguir el objetivo de invertir la tendencia en las emisiones de gases de efecto invernadero, toda vez que dicho objetivo se alcanzaría varios años antes. Cuando descomponemos el esfuerzo en I+D+i en dos partes, el aplicado a energías renovables y el aplicado a eficiencia energética, y volvemos a estimar las ecuaciones, los resultados en términos de requerimientos de renta para alcanzar el punto umbral, se encuentran más próximos entre sí (19.152 y 18.961 euros, respectivamente), aunque con una ligera ventaja para el gasto público aplicado en eficiencia energética. Sin embargo, estos últimos resultados no permiten emitir un juicio concluyente sobre qué tipo de gasto público está resultando más eficaz para conseguir el objetivo final, puesto que cualquier pequeña variación en las series utilizadas haría decantarse la conclusión en uno u otro sentido. Esto puede ser debido a que la reducida cantidad de recursos públicos que se destinan a fines de I+D+i energético en cada caso, impide al algoritmo de ajuste recoger adecuadamente el impacto sobre la variable dependiente.

Finalmente, al comparar el umbral de renta necesario para invertir la senda alcista de las emisiones contaminantes correspondiente al gasto público total en I+D+i energético ya visto (17.806 euros), con el mismo dato obtenido en Cantos y Balsalobre (2011), que asciende a 18.054 euros, donde se pretendía capturar el impacto positivo sobre el medio ambiente de un cambio en el mix energético español determinado por la incorporación de las energías renovables, vuelve a producirse un resultado ligeramente más favorable al gasto público total en I+D+i energético, aunque deben ser aplicables las cautelas advertidas en el párrafo anterior.

Los resultados obtenidos de las estimaciones apuntan a que el gasto público en I+D+i habría sido algo más eficaz que la sustitución de fuentes energéticas tradicionales por fuentes renovables. Sin embargo, este análisis no permite comparaciones en términos de eficiencia, puesto que no se incorpora información alguna sobre costes (el gasto público

es solo una pequeña parte de la I+D+i), si bien, no sería muy arriesgado realizar una hipótesis a favor del gasto en eficiencia energética en relación al gasto aplicado a la promoción de fuentes renovables.

BIBLIOGRAFÍA

- AGOSTINI, L.; y PADILLA, J. (2010): *La promoción de las energías renovables: La experiencia española*, Electricidad Verde: Energías Renovables y Sistema Eléctrico, pp. 517-541. MOSELLE B.; PADILLA, J.; y SCHMALENSEE, R. (eds.), Marcial Pons, Madrid, Barcelona, Buenos Aires.
- ALCÁNTARA, V., ROCA, J. (1995). "Energy and CO2 of analysis and some results for 1980-90", *Energy Economics*, n. 17(3), pp. 221-230.
- ALFRANCA, O. (2007): "Política fiscal, crecimiento económico y medio ambiente", *Revista de economía, ICE.*, n. 835, pp.77-93.
- ALFRANCA, O. (2009): "Regulación ambiental e innovación", *Cim.economía: Revista económica de Castilla - La Mancha*, n. 15, pp. 9-31.
- ANDREONI, J.; y LEVINSON, A. (1998): *The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve*, NBER Working Papers, n. 6739.
- ARROW, K. (1962), "Economic Welfare and the Allocation of Resources to Invention," in R.R. Nelson (ed.), *The Rate and Direction of Economic Activity*, Princeton University Press, N.Y
- ARROW, K.; BOLÍN, B.; CONSTANZA, R.; DASGUPTA, P.; FOLKE, C.; HOLLING, C.; JANSSON, B.; LEVIN, S.; MÄLER, K.; PERRINGS C.; y PIMENTEL, D. (1995): "Economic growth carrying capacity, and the environmental", *Science* n. 268, pp. 520-521
- BALDWIN, R. (1995): "Does sustainability require growth?" Goldin, I. & Winters, L.A. (eds.), *The economics of sustainable development*, Cambridge University Press, Cambridge
- CANTOS, J.M., BALSALOBRE, D. (2011): "Las energías renovables en la Curva de Kuznets Ambiental: Una aplicación para España", *Estudios de Economía Aplicada*, vol.29-2, pp.1-32.
- CAPÓ, J. (2009): *Curva de Kuznets Ambiental: evidencia para Europa*, Documento de trabajo, Universidad des Illes Balears.
- CORREA, F. (2007): *Crecimiento económico, desigualdad social y medio ambiente: evidencia empírica para América Latina*, Grupo de Economía Ambiental. Universidad de Medellín.
- CORREA, F. (2007): "Crecimiento económico y medio ambiente: Una revisión analítica de la hipótesis de la curva ambiental de Kuznets" *Grupo de Economía Ambiental*. Universidad de Medellín.
- CORREA, F.; Grupo de Economía Ambiental-GEA (2004): "Crecimiento económico y medio ambiente: una revisión analítica de la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets". *Semestre Económico*, núm. Julio-Diciembre, pp. 73-104.
- DE BRUYN, (2000): "Economic growth and the environment: an empirical analysis"; The Netherlands Kluwer Academic Publishers
- DE CASTRO, L.M. (2009): "Crecimiento Económico y Medioambiente", *Economía y Medio Ambiente*, n. 847, pp. 93-110
- DEL RÍO, P.; LABANDEIRA, X.; y LINARES, P. (2009): "La interacción del sistema europeo de comercio de emisiones con otros instrumentos de política", *Papeles de Economía Española*, n. 121, pp. 211-223.
- ENERCLUB (2009): Primer análisis del estado de la innovación en el área de las tecnologías energéticas en España, Club Español de la Energía, Madrid.
- FENG, T., SUN, L. y ZHANG, Y. (2009): "The relationship between energy consumption structure, economic structure and energy intensity in China", *Energy Policy*, n.37, pp. 5.475-5.483.
- FERNÁNDEZ, P. (2007): "La contribución de la ciencia, la tecnología y la innovación a la sostenibilidad de la energía en la UE", en GARCÍA DELGADO, J. L. y JIMÉNEZ, J. C. (Drs.): *Energía y Regulación*, Thomson-Civitas, Madrid.
- FISHER-VANDEN, K., JEFFERSON, G.H., LIU, H. y TAO, Q. (2004): "What is driving China's decline in energy intensity? Resource and Energy Economics, 26, pp. 77-97.
- FORO NUCLEAR (2012): *Energía 2012*, Madrid.
- GILLINGHAM, K.; y SWEENEY, J. (2010): "Fallos de mercado y la estructura de las Externalidades", *Electricidad Verde:Energías Renovables y Sistema Eléctrico*, pp. 127-166. MOSELLE B.; PADILLA, J.; y SCHMALENSEE, R. (eds.), Marcial Pons, Madrid, Barcelona, Buenos Aires.
- GILLINGHAM, R., NEWELL, G., PALMER, K. (2009): "Energy Efficiency Economics and Policy," *Annual Review of Resource Economics, Annual Reviews*, vol. 1,n.1, pp. 597-620.
- GITLI, E.; HERNÁNDEZ, G. (2002): *La existencia de la curva de Kuznets ambiental (CKA) y su impacto sobre las negociaciones internacionales*. Centro Internacional de Política Económica de la Universidad Nacional de Costa Rica
- GRILICHES, Z. (1992): 'The Search for R&D Spillovers', *Scandinavian Journal of Economics*, 94, pp. 29-47.
- GROSSMAN, G.; KRUEGER, E. (1991): "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement," NBER Working Paper, n. 3914.
- GROSSMAN, G.; KRUEGER, E. (1995): "Economic growth and the environment", *Quarterly Journal of*

- Economics*, v.110, n. 2, pp. 353-377.
- HAMILTON, C. y TURTON, H. (2002): "Determinants of emissions growth in OECD countries", *Energy Policy*, n. 30, pp. 63-71.
- HANG, L. y TU, M. (2007): "The impacts of energy prices on energy intensity: Evidence from China", *Energy Policy*, n. 35, pp. 2.978-2.988.
- IDAE (2012): *Observatorio Energías Renovables*, Madrid
- IEA (2009): *Energy Policies of IEA Countries. Spain 2009 Review*, OECD, International Energy Agency, Paris Cedex.
- IEA (2009): *World Energy Statistics and Balances y Energy Technology R&D Budgets*, International Energy Agency, Paris Cedex.
- IEA (2012): *IEA Energy Technology R&D Statistics, Database*, International Energy Agency, Paris Cedex.
- IM, K. S., PESARAN, M. H. y SHIN, Y. (2003): "Testing for unit roots in heterogeneous panels", *Journal of Econometrics*, n. 115, pp. 53-74.
- KAYA, Y. (1989): "Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios," paper presented to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Intergovernmental Panel on Climate Change, París, Francia
- KREMERS, J. J. M., ERICSSON, N. R. y DOLADO, J. J. (1992): "The power of cointegration tests", *International Finance Discussion Papers*, n. 431, Board of Governors of the Federal Reserve System (U.S.).
- LINARES, P. (2002): "Externalidades de la energía y su valoración", en GAGO, A.; y LABANDEIRA, X. (eds.): *Energía, Fiscalidad y Medio Ambiente en España*; Colección de Estudios de Hacienda Pública, Instituto de Estudios Fiscales, Madrid.
- MAGNANI, E. (2000): "The Environmental Kuznets Curve, environmental protection policy and income distribution", *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 32(3), pages 431-443, March.
- MANSFIELD, E. y SWITZER, L. (1984): "Effects of federal support on company-financed R&D: the Case of Energy", *Management Science*, n. 30, pp. 562-571.
- MEADOWS, D.H.; MEADOWS, D.L.; RANDERS, J.; y BEHRENS, W. (1972): *Los límites del crecimiento*, Fondo de Cultura Económica, Madrid
- MENDILUCE, M., PÉREZ-ARRIAGA, I. y OCAÑA, C. (2010): "Comparison of the evolution of energy intensity in Spain and in the EU15. Why is Spain different?", *Energy Policy*, n. 38, pp. 639-645.
- MMA (2011): *Informe de Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España e información adicional años 1990-2009*, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio rural y Marino, Madrid
- PANAYOTOU, T. (1993): "Empirical test and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development"; Working Paper, n. 238, Technology and Environment Programme, International Labour Office, Geneva, 1993
- PANAYOTOU, T. (1993): "Empirical test and policy analysis of environmental degradation at different stages of economic development"; Working Paper, n. 238, Technology and Environment Programme, International Labour Office, Geneva, 1993
- PANAYOTOU, T. (1997): "Demystifying the environmental Kuznets curve: turning a black box into a policy tool", *Environment and Development Economics*, n. 2, pp. 465-484.
- PEZZEY, J. (1989). "Economic Analysis of Sustainable Growth and Sustainable Development". Environmental department Working Paper, n. 15 (World Bank)
- PORTER, M. y VAN DER LINDE, C. (1995): "Towards a new conception of environment-competitiveness relationship", *Journal of Economic Perspectives*, 9, pp. 97-118
- RAVALLION, M.; HEIL, M.; y JALAN, J. (2000): "Carbon emissions and income inequality", *Oxford Economic Papers*, n. 52: 651-669.
- REE (2012): *Informe anual 2011*, Red Eléctrica Española, Madrid.
- ROTHBARD, M. N. (1970): *Man, Economy and State. A Treatise on Economic Principles*, Los Angeles, CA: Nash Publishing [1962].
- RUIZ, M. (2010): "Análisis del impacto de la I+D pública sobre la intensidad energética en la UE-15", *Clm. Economía*, n. 16, pp. 381-399
- SARAVIA, A. (2002): *La curva medio ambiental de Kuznets para América Latina y el Caribe*, Documento de reflexión académica, n. 23, pp. 10-25, Universidad Mayor de San Simón, Bolivia.
- SCRUGGS, A. (1998): "Political and economic inequality and the environment," *Ecological Economics*, Elsevier, vol. 26(3), pp. 259-275.
- SELDEN, T.; y SONG, D. (1994): "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management*, n. 27, v. 2, pp. 147-162.
- SHAFIK, N.; y BANDYOPADHYAY, N. (1992): "Economic Growth and Environmental Quality: Time-series and Cross-Country Evidence", *World Bank Working Papers*, n. 904, pp. 1-6. Washington D.C..
- STEGEER, U. (1996): "Organization and human resource management for environmental management", GROENEWEGEN, P.; FISCHER, K.; JENKINS, E.G.; y SCHOT, J. (eds.), *The Greening of Industry Resource Guide and Bibliography*, Washington, D.C.
- STOKEY, N. (1998): "Are the limits to growth?", *International Economic Review*, n. 39, pp. 1-31.
- TORRAS, M.; y BOYCE, J. (1998): "Income, inequality, and pollution: a reassessment of the Environmental Kuznets Curve", *Ecological Economics*, n. 25, pp. 147-160.
- UNESA (2010): *Memoria 2010*, Asociación Española de la Industria Eléctrica UNESA, Madrid
- UNESA (2011): *Informe estadístico 2011*, Asociación Española de la Industria Eléctrica UNESA, Madrid
- WCED (1987): *Our Common Future*, World Commission on Environment and Development, Oxford University

Press, Oxford.
WORLD BANK (1992): *Development and the environmental*; Oxford University Press, 1992),
YUXIANG, K. y CHEN, Z. (2010): “Government expenditure and energy intensity in China”, *Energy Policy*, n. 38,
pp. 691-694.

ANEXO

ALGUNAS CUESTIONES SOBRE EL MODELO DE LA CURVA AMBIENTAL DE KUZNETS

El ucraniano emigrado a Estados Unidos, Simón Kuznets (1901-1985), fue Premio Nobel de Economía en 1971 por sus aportaciones a la teoría del crecimiento y la distribución de la renta. Sin embargo, posteriormente, ha sido más conocido por la traslación que se hizo de sus postulados hacia el ámbito de la economía medioambiental, sobre todo, a partir de los trabajos realizados por el Banco Mundial (1992), Shafik y Bandyopadhyay (1992), Panayotou (1993), Selden y Song, (1994), o el de Grossman y Krueger (1995).

Aunque la hipótesis de la CKA no ha estado exenta de críticas (véase De Bruyn, 2000), Magnani (2000) sostiene que existe una más que suficiente evidencia empírica que relaciona el nivel de renta con las emisiones contaminantes y, por tanto, con la calidad ambiental, a pesar de que también hay autores que evitan hablar de calidad ambiental, en la medida de que alude a un stock, mientras que los estudios empíricos utilizan variables flujo (Correa, 2004), y se eluden efectos medioambientales irreversibles producidos en el pasado (Arrow *et al.*, 1995).

En definitiva, la hipótesis de la Curva Ambiental de Kuznets (CKA) analiza la relación existente entre el crecimiento económico y el deterioro medioambiental, tratando de confirmar que, en el corto plazo, el crecimiento económico provoca un mayor deterioro medio ambiental, pero que a largo plazo (en la medida que las economías se hacen más ricas) el crecimiento económico provoca una reducción de la contaminación (una explicación del modelo estructural puede verse en Correa, 2004). Indudablemente, la relación que subyace entre los niveles de contaminación y el crecimiento económico ha sido objeto de diversas interpretaciones que forman parte del modelo básico (estructural), pero que son omitidas en el modelo reducido, que es utilizado en los contrastes empíricos. De hecho, a las críticas de algunos autores en los años noventa en el sentido de que no es posible que el crecimiento económico, por sí mismo, explique el deterioro ambiental, Arrow, et al. (1995) responden que, en efecto, el crecimiento no puede ser un sustituto de la política ambiental, considerando que las medidas ambientales tienen un papel relevante y que puede ser recogido dentro del modelo CKA. De la misma manera que, abundando sobre los comportamientos básicos del modelo, Torras y Boyce (1998) introducen en la relación contaminación-crecimiento, la teoría del poder en el ámbito de decisión de las políticas públicas. También, los aportes de Scruggs (1998), y Ravallion, et al., (2000), abundan sobre la posibilidad de que la influencia de la desigualdad sobre la contaminación no sea necesariamente en la dirección que afirman Torras y Boyce, pudiendo darse un trade-off entre emisiones y renta, o bien una relación positiva entre ambas, bajo el supuesto de que la propensión marginal a emitir aumente con la renta.

Otras derivadas del modelo CKA han ido dirigidas a estudiar la relación entre la liberalización del comercio internacional y de los movimientos de factores (globalización) y los niveles de contaminación, como la que lleva a cabo Gitli (2002) al afirmar que hay un efecto composición que impulsa el mix productivo en los países más avanzados hacia actividades menos contaminantes, trasladando las más contaminantes a países menos desarrollados en los que, a su vez, se verían “beneficiados” por el efecto desplazamiento de las industrias más contaminantes, aumentando sus exportaciones de bienes manufacturados. Finalmente, hay otras aportaciones que ponen énfasis en la importancia de la tecnología y de las políticas de impulso, sobre la contaminación (Andreoni y Levinson, 1998), así como otras que consideran al medioambiente como un bien de lujo (Baldwin, 1995; Pezzey, John 1989).

Para terminar, de acuerdo con Correa (2007), en el modelo CKA es posible obtener el punto de quiebra (o punto umbral) donde la renta per cápita alcanza un nivel tal que permite que disminuyan las emisiones contaminantes. El punto de quiebra (y^*) se obtiene en la expresión 1 del texto principal, mediante la operación $y^* = -\beta_1/2\beta_2$, y representa el nivel de renta necesario a partir del cual la sociedad comienza a experimentar reducciones en el nivel de contaminación. Cuanto menor sea el requerimiento de renta, más “efectivas” serán las medidas adoptadas, puesto

que el esfuerzo económico a realizar por parte de una sociedad para poder alcanzar un crecimiento económico sostenible, será menor.

Son varios los problemas a que se han enfrentado los trabajos empíricos realizados para validar la hipótesis de la CKA. Sin ánimo de exhaustividad, podemos decir que hay tres importantes bloques de aspectos sujetos a controversia en este punto. En primer lugar, los que afectan a las series de datos utilizados, sobre todo, por lo que se refiere a la selección de los contaminantes: en unos casos, la CKA se cumple para contaminantes de efecto local y en otros casos ocurre justo al contrario. Otro tipo de cuestiones controvertidas son las relativas al uso de la técnica de panel para analizar conjuntamente las situaciones de varios países y que suele presentar problemas derivados de una muy diferente estructura de relaciones entre el ingreso y la contaminación entre los distintos países. Finalmente, la especificación concreta de la ecuación reducida que debe someterse a contraste, a veces plantea problemas de interpretación económica. En particular, es sabido que en un compromiso entre la máxima fidelidad al comportamiento real de las variables observadas y la necesidad de obtener evidencia clara sobre el cumplimiento de la relación fundamental que buscamos, el denominado modelo cúbico (especificando una variable adicional PIB^3_{PC} y un coeficiente β_3) constituye el estándar a seguir, puesto que el punto de quiebra suele deparar algo más que el signo de la pendiente de la función estimada; esto es, la propensión marginal a emitir contaminantes no se comporta de manera simétrica a ambos lados de dicho punto, supuesto más convincente que su contrario.

A pesar de ello, la forma de ‘N’ invertida que arrojan muchos de los modelos CKA cúbicos estimados, o bien suele carecer de una explicación económica convincente para el primer tramo descendente de la relación contaminación-ingreso, o bien la función estimada no difiere significativamente (para el rango relevante de datos observados) de la función estimada mediante el modelo cuadrático que, al final, es el que se encuentra más generalizado en los trabajos empíricos. En este trabajo no incluimos estimaciones de la variante cúbica del modelo, al resultar en unos peores ajustes que los obtenidos con el modelo cuadrático.